

ОБРАБОТКА КРОМОК ФАНЕРЫ РЕЗАНИЕМ

Изложена методика расчета касательной силы резания при строгании и фрезеровании кромок фанеры, показанная на примере решения задачи. Приведены результаты экспериментальных исследований при строгании кромок фанеры и результаты сопоставительного анализа расчетных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: кромки фанеры, фрезерование, строгание, продольные слои, поперечные слои, сила резания

Фанера представляет собой древесный материал, состоящий из нескольких склеенных листов лущёного шпона при взаимно перпендикулярном расположении волокон древесины в смежных листах. Из-за пластических деформаций листов шпона при горячем прессовании плотность фанеры превышает плотность массивной древесины. Обычно считают, что плотность фанеры на 18...20% выше плотности массивной древесины.

Фанера широко используется в строительстве, машино- и судостроении, домостроении, производстве мебели. При механической обработке кромки листов фанеры формируют пилением, фрезерованием, строганием, шлифованием.

Изучение специальной литературы показало, что в теории резания нет информации по механической обработке фанеры, нет расчетного метода для определения сил резания и мощности резания.

Целью настоящей работы является разработка расчетного метода, позволяющего находить силы резания при фрезеровании и строгании кромок фанеры общего назначения [1].

Процесс фрезерования кромок фанеры можно рассмотреть как процесс перерезания волокон древесины листов шпона и процесс перерезания клеевых слоев (рис. 1).

На приведенной схеме волокна древесины лицевых листов шпона 2 фанеры расположены перпендикулярно направлению скорости подачи

V_s . Режущие кромки фрезы 1 выполняют торцово-продольное резание. В смежных листах шпона 3 волокна древесины расположены параллельно направлению V_s , и режущие кромки фрезы в этих листах выполняют продольно-торцовое резание.

При диаметре окружности резания фрезы D и глубине фрезерования t угол подачи, измеряемый на середине дуги контакта между векторами скоростей главного движения и подачи,

$$\mu = \arcsin \sqrt{\frac{t}{D}}.$$

При продольно-торцовом резании угол встречи (перерезания волокон) равен $\varphi_e = \mu$, а при торцово-продольном резании – $\varphi_e = 90^\circ - \mu$.

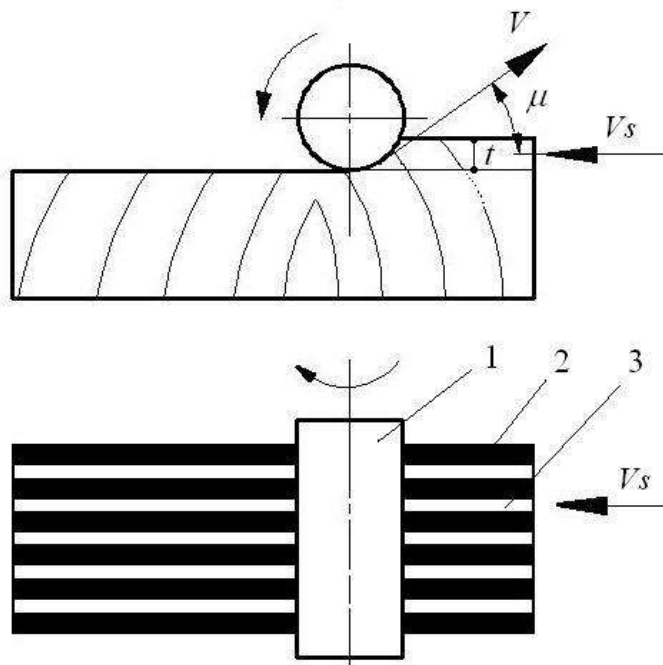


Рис. 1. Фрезерование кромки фанеры

Слои фанеры, волокна древесины в которых расположены параллельно направлению вектора скорости подачи, назовем **продольными**, а при перпендикулярном расположении волокон к вектору скорости подачи – **поперечными**.

При строгании кромок фанеры в продольных слоях выполняется резание вдоль волокон и угол встречи $\varphi_e = 0^\circ$ (вектор \bar{V} скорости главного движения параллелен направлению волокон), а в поперечных слоях выполняется резание торцовое с углом встречи $\varphi_e = 90^\circ$.

Если лист фанеры имеет n_c слоев (изготовлен из n_c листов шпона) и лицевые слои обрабатываются при торцово-продольном резании (\perp -//), то таких поперечных слоев в листе фанеры будет

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2} + 1,$$

а продольных слоев с продольно-торцовым резанием (//- \perp) будет

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2}.$$

Если в листе фанеры лицевые слои обрабатываются при продольно-торцовом резании, то таких продольных слоев будет

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2} + 1,$$

а поперечных слоев с продольно-торцовым резанием (\perp -//) будет

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2}.$$

Таким образом, сопротивление при фрезеровании фанеры можно рассматривать как сумму сопротивлений перерезанию волокон уплотненной древесины в продольных и поперечных слоях и сопротивлений перерезанию клеевых пленок.

Учет изменения плотности слоев фанеры. Для расчета силы резания можно найти значение удельной силы резания для массивной древесины заданной породы, а затем, учитывая, что плотность фанеры превышает плотность массивной древесины в среднем на 18...20%, найти значение поправочного коэффициента, учитывающего изменение плотности фанеры. Изменение удельной силы резания $F_{y\partial}$ от плотности древесины ρ для главных видов резания графически показано в работе Е.Г. Ивановского [2]. Линию тренда этой зависимости можно описать следующими уравнениями, МПа:

– для продольного резания

$$F_{y\partial //} = -4,43 + 73,2\rho; \quad (1)$$

– для торцового резания

$$F_{y\partial \perp} = -15,6 + 156,47\rho, \quad (2)$$

где ρ – плотность массивной древесины, г/см³ при влажности 12%.

Поправочный коэффициент $\alpha_{нл}$, учитывающий изменение удельной силы резания от плотности фанеры для продольных слоев можно найти так:

$$\alpha_{нл//} = \frac{-4,43 + 73,2 \cdot 1,18\rho}{-4,43 + 73,2\rho}. \quad (3)$$

Для древесины березы с плотностью $\rho = 0,63 \text{ г/см}^3$ поправочный коэффициент $\alpha_{нл//} = 1,199$. Для поперечных слоев фанеры $\alpha_{нл\perp} = 1,21$.

Расчет касательной силы резания. Ниже приводится метод расчета режимов резания кромок фанеры, основанный на использовании метода А.Л. Бершадского, применяемого обычно для расчета режимов резания массивной древесины. Для простоты иллюстрации метод расчета показан на примере решения задачи.

Дано. На станке выполняется строгание кромок листов березовой фанеры (заготовки поступательно перемещаются относительно неподвижного ножа). Количество слоев фанеры $n_c = 7$, слои изготовлены из березового шпона. В лицевых слоях волокна древесины расположены параллельно направлению вектора скорости главного движения (лицевые слои продольные). Скорость главного движения $V = 0,035 \text{ м/с}$, угол резания ножа $\delta = 55^\circ$, толщина срезаемого слоя $a = 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 \text{ мм}$. Ширина строгания $b = 9 \text{ мм}$. Радиус закругления режущей кромки ножа $\rho_0 = 10 \text{ мкм}$. Приняты коэффициент породы $a_n = 1,25$ (древесина березы), коэффициенты уплотнения слоев фанеры $a_{нл//} = 1,2$, $a_{нл\perp} = 1,21$, коэффициент, учитывающий перерезание пленок связующего $a_{св} = 1,07 \dots 1,25$.

Определить величину касательной силы резания.

Решение. 1. Ширина одного срезаемого слоя (шпона) фанеры

$$b_c = \frac{b}{n_c} = \frac{9}{7} = 1,29 \text{ мм}.$$

2. Находим количество продольных и поперечных слоев фанеры, если лицевые слои продольные:

– продольных слоев (в них осуществляется продольное резание)

$$n_{//} = \frac{n_c - 1}{2} + 1 = \frac{7 - 1}{2} + 1 = 4 \text{ шт};$$

– поперечных слоев (в них осуществляется торцовое резание)

$$n_{\perp} = \frac{n_c - 1}{2} = \frac{7 - 1}{2} = 3 \text{ шт.}$$

3. Находим фиктивную силу резания из формул для продольно-торцового резания древесины **сосны**:

– для продольных слоев (угол встречи с волокнами $\varphi_g = 0^\circ$)

$$p_{//} = 1,57 + 3,23 \sin_{\varphi_g}^{1,25} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 0^\circ = 1,57 \text{ Н/мм};$$

– для поперечных слоев (угол встречи с волокнами $\varphi_g = 90^\circ$)

$$p_{\perp} = 1,57 + 3,23 \sin_{\varphi_g}^{1,25} = 1,57 + 3,23 \sin^{1,25} 90^\circ = 4,8 \text{ Н/мм.}$$

4. Касательное давление срезаемого слоя на переднюю грань лезвия для древесины **сосны** [3]:

– для продольных слоев

$$\begin{aligned} k_{//} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_g = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 0,035) - 5,4 + (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 0,035) - \\ &- 14,22) \cdot \sin^{1,25} 0^\circ = 11,59 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

– для поперечных слоев

$$\begin{aligned} k_{//\perp} &= 0,196\delta + 0,069V' - 5,4 + (0,354\delta + 0,127V' - 14,22) \sin^{1,25} \varphi_g = \\ &= 0,196 \cdot 55 + 0,069(90 - 0,035) - 5,4 + (0,354 \cdot 55 + 0,127(90 - 0,035) - \\ &- 14,22) \sin^{1,25} 90^\circ = 28,26 \text{ МПа;} \end{aligned}$$

5. Коэффициент затупления для острого лезвия $\alpha_p = 1$.

6. Средняя сила резания на ноже, Н

$$F_{x \text{ зуб}} = a_n a_{св} [a_{нл//} (\alpha_p p_{//} + k_{//} a) b_c n_{//} + a_{нл\perp} (\alpha_p p_{\perp} + k_{\perp} a) b_c n_{\perp}].$$

где a_n – коэффициент, учитывающий породу древесины, из которой сделана фанера;

$a_{св}$ – коэффициент, учитывающий перерезание пленок связующего, $a_{св} = 1,07 \dots 1,25$ (для тонкой фанеры следует принимать большее значение $a_{св}$);

$a_{нл\perp}$, $a_{нл//}$ – коэффициенты, учитывающие изменение удельной силы резания при уплотнении поперечных и продольных слоев фанеры.

$$\begin{aligned} F_{x \text{ зуб}} &= 1,25 \cdot 1,07 \cdot [1,2 \cdot (1 \cdot 1,57 + 11,59 \cdot 0,1) \cdot 1,29 \cdot 4 + 1,21 \cdot (1 \cdot 4,8 + 28,26 \cdot 0,1) \cdot 1,29 \cdot 3] = \\ &= 70,4 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Результаты расчета для других значений срезаемого слоя приведены ниже:

a , мм	0,1	0,15	0,20	0,25
$F_{x \text{ зуб}}$ расчетное, Н	70,4	84,0	97,7	111,3

Для оценки расчетных данных в лаборатории кафедры станков и инструментов УГЛТУ проведено исследование процесса строгания кромок фанеры 5-слойной толщиной 6 мм плотностью $\rho = 0,77 \text{ г/см}^3$, и 7-слойной толщиной 9 мм плотностью $\rho = 0,708 \text{ г/см}^3$. Остальные условия опытов приведены в данных выше приведенного примера.

Для измерения силы использовался двухкоординатный тензометрический динамометр. Для получения и обработки данных была выбрана аппаратно-программная среда LabView, которая преобразует аналоговый сигнал в цифровой и позволяет создавать, хранить и обрабатывать базы данных на компьютере.

Исследовалось строгание кромок фанеры продольное и поперечное. Цель исследования – разработка расчетного метода для определения сил резания, изучение зависимости сил резания и глубины микронеровностей от толщины срезаемого слоя.

Пример полученного графика зависимости сил резания от толщины срезаемого слоя при продольном строгании кромок фанеры приведен на рис. 2.

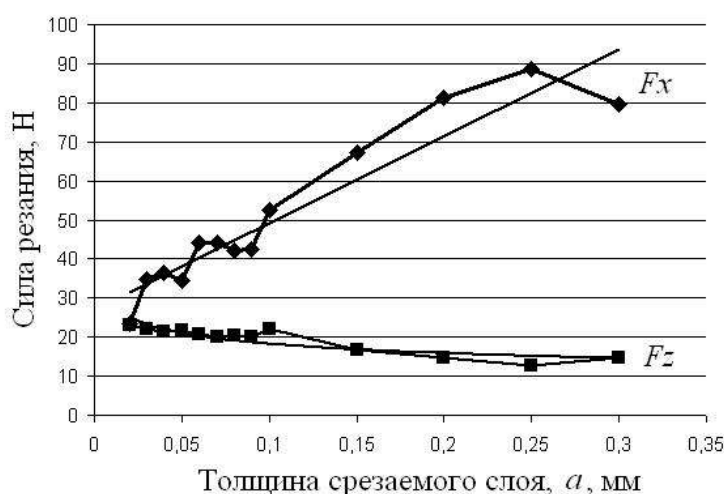


Рис. 2. Зависимость сил резания касательной F_x и нормальной F_z от толщины срезаемого слоя при продольном строгании кромок

березовой фанеры толщиной 6 мм

Принятые линии тренда описаны следующими уравнениями:

– $F_x = 26,92 + 222,68a$ (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,9$);

– $F_x = 11,357a^{-0,2056}$ (достоверность аппроксимации $R^2 = 0,77$).

При резании поперечных слоев наблюдаются вырывы волокон древесины, что приводит к уменьшению сил резания особенно при толщине срезаемых слое $a \geq 0,2$ мм.

Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными приведено в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные и экспериментальные данные процесса продольного
строгания фанеры

Кол-во слоев фанеры	Толщина срезаемого слоя, a , мм				
	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3
Экспериментальные данные					
5	52,7	67,1	81,2	88,6	79,6
7	71,3	88,1	93,1	93,1	-
Расчетные данные					
5	53,0	63,3	73,7	84,0	94,3
7	70,4	84,0	97,7	111,3	-
Погрешность по отношению к экспериментальным данным, %					
5	-0,7	5,6	9,3	5,2	-18,5
7	1,2	4,6	-4,9	-19,6	-

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. В фанере можно выделить продольные слои (в них осуществляется резание вдоль волокон при строгании или продольно-торцовое при фрезеровании) и поперечные слои (в них осуществляется резание в торец при строгании или торцово-продольное при фрезеровании).

2. По предлагаемому расчетному методу сила резания складывается из сопротивлений резанию в продольных и поперечных слоях, с учетом коэффициентами упрессовки слоев фанеры и перерезания смоляных пленок.

3. Сравнивая расчетные данные по предлагаемому методу с экспериментальными данными, можно сделать вывод об удовлетворительной сходимости полученных данных. Предлагаемый расчетный метод можно рекомендовать для решения практических задач.

Библиографический список

1. ГОСТ 3916.1-96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. – ИПК Издательство стандартов, 1999.

2. Ивановский, Е.Г. Резание древесины/Е.Г. Ивановский. М.: Лесн. просв., 1974. – 200 с.

3. Глебов, И.Т. Резание древесины: Учебное пособие/И.Т. Глебов. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 256 с.

Glebov I.T., Glebov V. V.

Processing of edges of plywood by cutting

The design procedure of a tangent of force of cutting is stated when planing and milling edges of the plywood, shown on an example of the solution of a task. Results of pilot studies are given when planing edges of plywood and results of the comparative analysis of settlement and experimental data.